

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-35697

(P2001-35697A)

(43)公開日 平成13年2月9日(2001.2.9)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

L 5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平11-212238

(22)出願日 平成11年7月27日(1999.7.27)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 三宅 正司

大阪府吹田市青葉丘南8番 P-505

(72)発明者 庄司 多津男

愛知県名古屋市瑞穂区松月町2-45 メゾ  
ン松月 202

(72)発明者 節原 裕一

大阪府箕面市小野原東3-11-15-245

(74)代理人 100087147

弁理士 長谷川 文廣

最終頁に続く

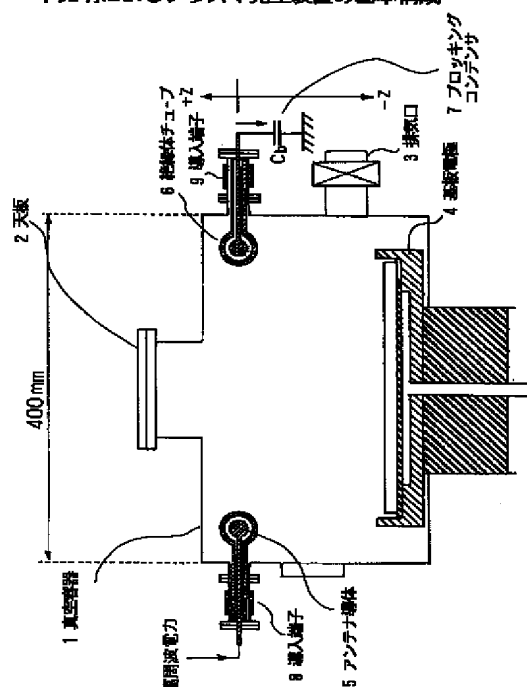
(54)【発明の名称】 プラズマ発生装置

(57)【要約】

【課題】大面積基板のエッチングや薄膜形成等の表面処理を行うのに有用なプラズマ発生装置に関わり、真空容器に絶縁体の隔壁部あるいは天板を設けてその外側に高周波アンテナを設置する従来の誘導結合型プラズマ発生装置では、放電室の径が大きくなるにつれ絶縁体の厚みを大幅に増大させなければならず、高周波電力の利用効率が低下するという問題があった。

【解決手段】プラズマ発生装置の真空容器1の内部にアンテナ導体5全体を入れ、絶縁体の隔壁や天板を用いる必要をなくして、アンテナから放射される誘導電界の全てを有効利用できるようにした。またアンテナのインダクタンスを小さくしたり、アンテナ導体を絶縁体で被覆したりして異常放電の発生を抑制し、高密度プラズマの安定化を図っている。

本発明によるプラズマ発生装置の基本構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波放電による誘導結合方式のプラズマ発生装置において、高周波電力を印加して誘導電界を発生させるアンテナを真空容器内に設置したことを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項2】 請求項1に示されたプラズマ発生装置において、アンテナの全表面が真空中に曝されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項3】 請求項1に示されたプラズマ発生装置において、アンテナの全表面が絶縁体で被覆されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項4】 請求項1に示されたプラズマ発生装置において、アンテナは周回しないで終端する線状の導体で構成されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項5】 請求項1ないし請求項4に示されたプラズマ発生装置において、アンテナは少なくとも1つ以上のコの字形または円弧形の線状の導体で構成されることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項6】 請求項5に示されたプラズマ発生装置において、アンテナを構成する2つのコの字形または半円形の棒を形成する線状の導体が真空容器の内壁に沿って配置されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項7】 請求項1ないし請求項4に示されたプラズマ発生装置において、アンテナは真空容器の内壁に沿って配置されている少なくとも1つ以上の直線状導体で構成され、それら1つ以上の直線状導体の各々へ高周波電流を並列に供給することを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項8】 請求項1ないし請求項4に示されたプラズマ発生装置において、アンテナはリング状の導体で構成され、該リング状導体のある一点と、該一点に直径線上で対向する他の一点との間でリング状導体に高周波電流を供給することを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項9】 請求項1ないし請求項4に示されたプラズマ発生装置において、真空容器の外側に、プラズマ密度を一樣にする磁界発生手段を設けたことを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項10】 請求項1ないし請求項4に示されたプラズマ発生装置において、アンテナの接地側の接続点と接地との間に、電気容量が固定または可変のコンデンサを挿入したことを特徴とするプラズマ発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アンテナに高周波電流を供給して高周波電界を発生させ、その電界によりプラズマを発生して、基板面にエッチングや薄膜形成等の表面処理を行うプラズマ処理装置に有用なプラズマ発生装置に関わり、特に液晶用ガラス基板等の大面積基板を処理するのに適するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体デバイスや液晶ディスプレイの製造工程で使用されるドライエッチング装置やアッシング装置、プラズマCVD装置等のプラズマを用いた処理装置の分野においては、近年の処理基板の大型化に伴い、処理装置のプラズマ源も大口径化が要求されている。また、一方では、エッチングレートや成膜速度、スループットを確保するため、高真空下でのプラズマの高密度化が要求されている。

【0003】このうち、プラズマの高密度化に関しては、プラズマの励起効率を促進するために、高周波を用いて誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma、以下ICPと略称)を発生させる方法が採用されている。ICPは主としてアンテナ励起用コイルに高周波電流を流し、これによって真空中に誘導電磁界を発生させ、プラズマを生成するものであり、高真空下において高密度プラズマを均一に生成することができる。

【0004】従来のICPを用いたプラズマ処理装置の1例を図12に示す。図12において、21は基板のエッチング処理等を行なう真空容器(プロセスチャンバー)、22は真空容器の一部に設けられた石英等の絶縁体隔壁、23は絶縁体隔壁22の大気側の壁面に沿ってループ状あるいはスパイラル状に設けられた1ターン以上の巻数を有する周回形状の高周波アンテナ、24は高周波アンテナに高周波電力を供給する高周波電源、25は排気口、26は放電プラズマが生成される放電室、27は基板電極である。

【0005】しかし、図12の従来方式では、放電室26の径を400mmφ以上に大口径化しようとするれば、大気圧下にある外気と高真空下にある放電室内との圧力差に抗するのに必要となる機械的強度を得るために、絶縁体隔壁22の肉厚を10～30mmもの厚みにしなくてはならず、このため高周波アンテナ23から放射される誘導電界強度は、アンテナから遠くなるに従って指数関数的に減少して放電効率が悪くなり、アンテナ23のインダクタンスが大きくなってアンテナに発生する高周波電圧が高くなってしまふこと等の問題があった。

【0006】一方、このように放電室の側面を周回させるようにアンテナを設ける代わりに、真空容器の放電室上面を絶縁体の天板にして、その外側にアンテナを設置する方式もあった。しかしこの方式では、現状での放電室径が300mmφのものの天板の絶縁体の厚みが20mm程度であるのに対し、放電室径を400mmφ以上に大口径化しようとした場合には、機械的強度を確保するために30～50mmもの厚みが必要となるという問題があった。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】真空容器の絶縁体隔壁あるいは天板の大気側の壁面に高周波アンテナを設置する従来の誘導結合型プラズマ発生装置では、放電室の径が大きくなるにつれ絶縁体の厚みを大幅に増大させなけ

ればならず、またアンテナから放射される誘導電界の内、真空容器の絶縁体隔壁あるいは天板に接する面の側に放射される誘導電界成分のみしか放電維持に利用されないため、投入される高周波電力の利用効率が悪いという問題があった。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記の問題点を解決するために、本発明によるプラズマ発生装置においては、アンテナ自体を真空容器内部の任意の場所に設置し、つまり内部アンテナにしてアンテナの全表面が真空内にあるようにし、アンテナから放射される誘導電界の全てを有効利用できるようにするとともに絶縁体の隔壁や天板を用いる必要をなくしている。また同時に本発明では、内部アンテナの場合、アンテナに大きな電圧が印加されると異常放電を生じやすくなることから、アンテナのインダクタンスを極力小さくし、少なくともアンテナが1ターン以上周回しない構造としている。以下に、本発明の原理について詳述する。

【0009】アンテナを真空チャンバー内に導入した場合、アンテナ自体がプラズマに曝される為、アンテナに印加される電圧に依存してイオンや電子がアンテナに流入する。この時プラズマ中のイオンと電子の高周波電磁界に対する移動速度が大きく異なることから、時間平均では実効的にプラズマ中の電子がアンテナへ過剰に流入してプラズマ電位が上昇する。その結果、投入高周波電力の増加によるプラズマの高密度化に伴いアンテナ導体との静電結合によるプラズマ電位の上昇が顕著となり、真空容器内に異常放電を引き起こす。この様に内部アンテナ型のICPプラズマでは安定した高密度プラズマが得にくいという問題がある。また、静電結合の増加は、アンテナからシースを介してプラズマに印加される高周波電圧の振幅を大きくする。高周波電圧の振幅の増大は、プラズマの乱れ（プラズマ電位の高周波変動の増大）を誘発する。その結果、エッチングや薄膜形成時におけるプラズマの揺らぎが大きくなり（例えばイオン入射エネルギーの増大）、プラズマダメージの影響が懸念される。よって、内部アンテナ型のICPプラズマ生成においては、印加する高周波電圧の低動作電圧化が重要であり、そのためには、アンテナのインダクタンス低減および静電結合の抑制が必要である。

【0010】このため本発明では、請求項1に記するようにアンテナ自体を真空容器内の任意の場所に設置することを特徴とする。これにより放電室の形状や口径および長さに制限されることなく、大口径の高密度プラズマを生成することが可能となる。

【0011】また本発明では、請求項2に記するように、当該アンテナの全表面が真空に曝されていることを特徴とする。

【0012】さらに本発明では、請求項3に記するように、内部アンテナ化に伴う静電結合の増加を抑制するた

め、アンテナ導体の表面を全て絶縁体で被覆することを特徴とする。

【0013】さらに本発明では、請求項4に記するように、アンテナの大型化に伴うインダクタンスの増加を抑制するため、アンテナは周回しないで終端する線状の導体で構成することを特徴とする。

【0014】さらに本発明では、請求項5に記するように、アンテナを、少なくとも1つ以上のコの字形または円弧形の線状の導体で構成することにより、インダクタンスの減少を図ることを特徴とする。

【0015】さらに本発明では、請求項6に記するように、アンテナは2つのコの字形または半円形の枠を形成する線状の導体を真空容器の内壁に沿って配置する構造をとることを特徴とする。

【0016】さらに本発明では、請求項7に記するように、アンテナは真空容器の内壁に沿って配置した少なくとも1つ以上の直線状導体で構成し、それら1つ以上の直線状導体の各々へ高周波電流を並列に供給することを特徴とする。

【0017】さらに本発明では、請求項8に記するように、アンテナをリング状の導体で構成し、該リング状導体のある一点と、該一点に直径線上で対向する他の一点との間でリング状導体に高周波電流を供給することを特徴とする。

【0018】さらに本発明では、請求項9に記するように、真空容器内のプラズマの密度が一樣になるよう、真空容器の外壁に沿ってマルチカスプ型の永久磁石を取り付けたことを特徴とする。

【0019】さらに本発明では、請求項10に記するように、大電力投入による高周波電圧増大を抑制するため、アンテナの終端と接地との間に電気容量が固定または可変のコンデンサを挿入することにより、アンテナに発生する対地高周波電圧を半減することを特徴とする。

【0020】本発明によるプラズマ発生装置の基本構成を、図1により説明する。なお、図1には、便宜上、本発明の1実施例装置の構成が示されているが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0021】図1において、1は真空容器（プロセスチェンバー）、2は天板、3は排気口、4は基板電極、5は本発明によるアンテナ導体、6はアンテナ導体5の全表面を被覆する絶縁体チューブ、7はアンテナ導体5を接地から浮遊（フローティング）させる容量が固定あるいは可変のブロッキングコンデンサ、8、9はアンテナ導体5を支持するとともにアンテナ導体5に高周波電力を供給する導入端子である。

【0022】アンテナ導体5は、図では断面のみが示されているが、真空容器1の内壁面に沿って配置された1つ以上のコの字形あるいは円弧形等の種々の形状の線状導体で構成される。それらの線状導体は、いずれも真空容器1の内壁面を周回しない長さ、つまり内壁面を一周

しないで終端する長さにつくられる。具体的には、例えば図3、図9、図10、図11に示されているようなアンテナのパターンなどが適用できる。

【0023】プラズマ励起用のアンテナ全体が真空容器1内に収容されているため、真空容器の一部を厚い絶縁体材料で形成する必要がなく、装置の大口径化が容易であり、アンテナの形状変更も任意かつ容易に行うことができる。

$$V_{\text{sheath}} = V_{\text{antenna}} - V_{\text{insulator}} = V_{\text{antenna}} Z_{\text{sheath}} / (Z_{\text{insulator}} + Z_{\text{sheath}})$$

ここで $Z_{\text{insulator}}$ 及び $Z_{\text{sheath}}$ は絶縁体及びシース領域のインピーダンスを示す。これらインピーダンスは主に抵抗成分と静電容量成分で構成されている。高周波電力を増大させプラズマの密度が増加した際、プラズマ中の等価抵抗(抵抗成分)の減少とシースの厚みの低下による静電容量の増加(注:シースの静電容量はシースの厚さに逆比例する。)のために $Z_{\text{sheath}}$ は減少する。

(注:インピーダンスの静電容量成分は静電容量の逆数比例するため、シースの静電容量増加はインピーダンスの減少に寄与する。)これに対し $Z_{\text{insulator}}$ はプラズマ状態に関わらず一定であることにより、プラズマ密度が高くなるほど $V_{\text{sheath}}$ の値は小さくなる。この様にアンテナ表面を絶縁体で被覆することにより、アンテナへの電子流入が遮断され、アンテナとプラズマとの静電結合成分が抑制される。その結果、プラズマの高密度化に伴うプラズマ電位の急増が抑制され、異常放電を起こすことなく安定した高密度プラズマ生成が可能になる。また、シース電位が小さくなることにより、プラズマによる真空容器内壁やアンテナへのスパッタリングが抑制され、基材表面や薄膜中への不純物混入を低減できる。

【0025】絶縁体の材質ならびに厚さの選択にあたっては、シースの等価インピーダンスよりも十分(例えば一桁以上)大きいインピーダンスを有する( $Z_{\text{insulator}} \gg Z_{\text{sheath}}$ )ことが必要であり、さらにはプラズマに直接曝されても問題を生じない耐熱性、化学的安定性、機械的強度、電気絶縁性等を有することを要件とする。このため、例えば高純度アルミナ、石英、ジルコニア等の高抵抗、高絶縁性、低誘電率を同時に満たすことが可能なセラミックス誘電体群の材質で、厚みは2~4mm程度であればよい。

【0026】図3は、周回しないで終端させたアンテナ形状の1例を示す。図示されている高周波アンテナ10※

$$|V_H - V_L| = |j\omega L + r_c| I_{rf} \approx \omega L I_{rf} \quad (2)$$

【0031】ここで、また一般に使用される金属製アンテナにおいては、内部抵抗 $r_c$ は無視できる程度に小さい。したがって図4(b)に示すように、アンテナの終端にブロッキングコンデンサ $C_b$ を接続した浮遊型アン

$$|V_L| = (1/\omega C_b) I_{rf} \quad (3)$$

$$|V_H| = |1/j\omega C_b + j\omega L| I_{rf} \quad (4)$$

※【0024】図示のように、真空容器1内でアンテナ導体5の全表面を絶縁体チューブ6で覆った場合、図2の等価回路に示すように、プラズマのシース領域に印加される電圧( $V_{\text{sheath}}$ )は、アンテナに発生する電圧( $V_{\text{antenna}}$ )と絶縁体における電位降下分( $V_{\text{insulator}}$ )を用いて次式のように表すことができる。

(1)

※は、断面が矩形の真空容器1内で、線状導体を壁面に沿ってコの字に半周させたアンテナを2つ対向させ、並列接続して構成した矩形状の棒を持つアンテナの例である。真空容器1が円筒状をなしている場合には、コの字のパターンの代わりに半円のパターンを2つ向き合わせて並列接続した円形状の棒を持つアンテナを用いることができる。なお、必要に応じて矩形あるいは円形を3つ以上のパターンに分割したアンテナを並列接続して、全体が矩形あるいは円形状の棒を持つアンテナを用いることも可能である。

【0027】このような周回しない高周波アンテナ10は、従来のループやコイルなどの周回する形状のアンテナに比べ、アンテナの持つインダクタンスを大幅に低減できる。その結果、高周波電力増大に伴う高周波電圧の増大を抑制することが出来る。

【0028】高周波アンテナ10の接地側端子と接地との間には、ブロッキングコンデンサ7が挿入され、駆動側端子へは、整合器11を介して高周波電力が供給される。図4(a)、(b)は、接地電位に直接接続された接地型アンテナと、コンデンサを介して接地電位に接続された浮遊型アンテナの等価回路を示す。ここで $L$ はアンテナのインダクタンス、 $r_c$ はアンテナの内部抵抗、 $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ はマッチングコンデンサ、 $C_b$ はブロッキングコンデンサ、 $\omega$ は高周波電流の角周波数である。

【0029】図4(a)、(b)の何れの場合においても、高周波アンテナの高電位側電圧 $|V_H|$ と低電位側電圧 $|V_L|$ との間に発生する高周波電圧は、アンテナ電流 $I_{rf}$ 、アンテナのインダクタンス $L$ 、アンテナの内部抵抗 $r_c$ を用いて、次の数1に示す式で与えられる。

【0030】

【数1】

★テナの場合のアンテナ両端の電位 $|V_L|$ 、 $|V_H|$ はそれぞれ次式で表せる。

【0032】

図4(a)、(b)において共振条件が成立する時、 $L$ と $C_0$ は $1/\omega^2 = [C_0 C_1 / (C_0 + C_1)] L = C_1 L$ となる。

【0033】また、一般に整合器11における入力インピーダンスは50オーム程度の低インピーダンスである\*

$$|V_H/V_L| = C_b/C_2$$

図4(a)に示すアンテナの終端を接地電位に直接接続している接地型アンテナの場合における高電位側の高周波電圧の振幅は、低電位側が接地電位( $V_L = 0V$ )に固定されるので $\omega L_{rf}$ となる。

【0035】これに対し図4(b)の浮遊型アンテナのアンテナ両端の電圧は、式(2)、(5)から $\omega L_{rf}$ より小さくなる。そして終端容量が平衡条件を満たして $C_b$ と $C_2$ の比が1となる時、最小値 $V_H = V_L = \omega L_{rf}/2$ が得られる。

【0036】ここで、プラズマへの高周波電流の漏洩が無視できる単純な場合を想定すると、図5(a)、

(b)に示すように、アンテナ導体に沿って分布する高周波電圧は、 $V_L$ から $V_H$ まで直線状に変化する。この場合、図5(b)に示すアンテナ終端にコンデンサ( $C_b$ )を接続した浮遊型アンテナでは、アンテナ自体

( $L$ )と整合器内のマッチングコンデンサ( $C_2$ )及び接地電位の間に挿入したブロッキングコンデンサ

( $C_b$ )の各インピーダンスが $\omega L = 2/\omega C_b = 2/\omega C_2$ を満足するとき、アンテナ高電位側の電圧 $V_H$ の振幅は、図5(a)に示すアンテナを直接接地電位に接続した接地型アンテナの場合の振幅( $\omega L_{rf}$ )の半分となる。

【0037】そして、先に示したように、周回しない線状導体のアンテナへ高周波電流を供給することと、アンテナの終端にコンデンサを挿入してインピーダンスの整合を取ることを組み合わせることにより、アンテナにかかる高周波電圧の振幅を大きく低減できる。例えば、本発明による周回しないアンテナの1実施例である図9に示すようなリング状導体のアンテナ(ダブル・ハーフループアンテナ)の場合には、後述される様に、同径で従来方式の周回する1ターンのアンテナの場合に比べてインダクタンスは $1/2$ となる。このため、周回する1ターンのアンテナを用いてその接地側電極を直接に接地電位に接続する従来の方式に比べて、高周波電圧の対地振幅はその約 $1/4$ となる。これは、アンテナに発生する対地電圧振幅として、従来方式と同程度の電圧が許される場合、従来方式に比べて1.6倍もの高出力の高周波電力を供給可能であることを示している。

【0038】

【発明の実施の形態】図1に示した本発明装置の1実施例を説明する。本装置は直径400mm、高さ200mmの円筒型真空容器1の内部に、アンテナ導体5として、図9に示される直径360mmのリング電極からなる高周波アンテナ14を容器側壁に設けた2つの導入端※50

\*ため、 $C_0 \gg C_1$ を満たす。さらに、アンテナとの整合時には $1/C_1 = 1/C_2 + 1/C_b$ を満足する。その結果、図4(b)の浮遊型アンテナにおけるアンテナ両端の電圧比は次式のように表せる。

【0034】

(5)

※子8、9に固定して設置している。そして容器側壁の一方の導入端子8には、図9に示されている高周波電源(周波数:13.56MHz)12が整合器11を介して接続されている。そしてこのリング電極の表面全てを、肉厚2mmの高純度アルミナセラミックス(99.6at%)の絶縁体チューブ6で被覆している。絶縁体の材質ならびに厚さの選択にあたっては、式(1)からも分かるように、シースの等価インピーダンスよりも十分に大きい(例えば一桁以上)インピーダンスを有する( $Z_{insulator} \gg Z_{sheath}$ )ことが必要であり、さらにはプラズマに直接曝されても問題を生じない耐熱性、化学的安定性、機械的強度、電気絶縁性等を有することを要件とする。このため、例えば高純度アルミナ、石英、ジルコニア等の高抵抗、高絶縁性、低誘電率を同時に満たすことが可能なセラミック誘電体群の材質で、厚みは2~4mm程度であればよい。また他方の導入端子9にはコンデンサ(静電容量:400pF)が接続されており、このコンデンサを介して接地されている。図9に示すように導入端子は、リング状電極に対して直径線上で向かい合うように配置され、リング状電極の直径線上の2つの接続点から高周波電力を供給するような構造(ダブル・ハーフループアンテナ)になっている。この様な電力の供給方式により、同径で従来方式の周回形状を有する1ターンのアンテナの場合に比べて、アンテナのインダクタンスは半減される。本実施例に用いたリング電極(フルループ)のインダクタンスを計測した結果、約1200nHであった。そして、ダブル・ハーフループ構造にてインダクタンスを同様に計測した結果600nHが得られ、インダクタンスは半減した。

【0039】また、容器側壁の導入フランジを用いてプラズマ計測用のラングミュアプローブを導入し、このプローブによりプラズマ状態を計測した。

【0040】まず、真空ポンプにて真空容器内を $1 \times 10^{-4}$ Paまで排気した後、図示していないガス導入口よりアルゴンガス(Ar)を1.1Paまで導入し、高周波電力を120W~2400Wまで投入し、真空容器内にプラズマを発生させた。この時ラングミュアプローブにより真空容器中心部(アンテナ設置面より-65mm)のプラズマ密度を計測した。

【0041】また、アンテナの接地側に挿入したコンデンサの効果を検討するため、コンデンサを挿入した場合(浮遊型アンテナ)とアンテナ終端を直接接地電位に接続した場合(接地型アンテナ)について実験を行い比較した。

【0042】図6に、浮遊型アンテナと接地型アンテナそれぞれのアンテナ状態における高周波投入電力 ( $P_{rf}$ ) とプラズマ密度 ( $n_p$ ) との関係を示す。同図に見られるように、浮遊型アンテナ及び接地型アンテナ何れにおいても  $P_{rf}$  の増加に伴い  $n_p$  は増大し、 $P_{rf} = 2.4 \text{ kW}$  で荷電粒子密度が  $5 \times 10^{11} (\text{cm}^{-3})$  の高密度プラズマが得られ、アンテナ接地状態の違いによる  $n_p$  の違いは無いことがわかる。また、本実施例で得られるプラズマ密度は、従来方式による放電室径が  $300 \text{ mm} \phi$  以下のプラズマ発生装置で得られているものと同程度かそれより高い値となっており、本発明のプラズマ発生方式によれば、従来方式のプラズマ発生装置に比べて大口径化した場合でも実用化レベルの高密度プラズマが容易に得られることを示している。

【0043】さらに図7には、同時にオシロスコープで計測した接地型アンテナと浮遊型アンテナそれぞれにおける高周波電圧 ( $V_{antenna}$ ) の変化を示す。接地型アンテナの場合、 $n_p$  が  $1 \times 10^{11} (\text{cm}^{-3})$  以上になる  $P_{rf} 500 \text{ W}$  以上の領域では、 $P_{rf}$  の増加に依存して  $V_{antenna}$  も増大する。これに対し高周波電圧平衡条件を満たす浮遊型アンテナの場合、接地型アンテナの場合の半分かそれ以下の  $V_{antenna}$  値を示す。そして、 $P_{rf} = 2.5 \text{ kW}$  の時、接地型アンテナでは  $V_{antenna} = \text{約} 1800 \text{ V}$  に対し、浮遊型アンテナでは、 $V_{antenna} = 600 \text{ V}$  と、約  $1/3$  の電圧に抑えられている。これらの結果から、アンテナの接地側に高周波電圧平衡条件を満たすコンデンサを挿入することは、プラズマ密度を低下させることなくアンテナにかかる電圧値の低減を可能にし、大電力投入による安定した高密度プラズマの生成を容易にする。

【0044】図1の実施例と同様の装置を用いて、アルゴンガス ( $\text{Ar}$ ) を  $1.1 \text{ Pa}$  まで導入し、高周波電力を  $120 \text{ W} \sim 2400 \text{ W}$  まで投入し、真空容器内にプラズマを発生させた。この時アンテナの終端は直接接地電位に接続した。またこの時アンテナ表面の絶縁体被覆の効果を検討するため、アンテナ表面に絶縁体を被覆した場合としない場合について同様の実験を行って比較した。

【0045】図8に、それぞれのアンテナ状態における高周波投入電力 ( $P_{rf}$ ) に対するプラズマ密度 ( $n_p$ ) の変化を示す。絶縁体被覆無しのアンテナ状態の場合、 $P_{rf} = 500 \text{ W}$  までは  $P_{rf}$  の増加に依存してプラズマ密度 ( $n_p$ ) は増加する。しかし  $P_{rf} = 500 \text{ W}$  以上になると真空容器内の至る所 (例えば、導入端子部) で異常放電が多発し、安定したプラズマを得ることができなかった。これはプラズマ密度の増加に伴いプラズマ電位が急激に上昇し、その結果、真空容器内の各所で異常放電が生じたと考えられる。

【0046】一方、絶縁体で被覆したアンテナでは  $P_{rf}$  の増加に対し異常放電を起こすことなく  $n_p$  は増加し、 $P_{rf} = 2.4 \text{ kW}$  で  $5 \times 10^{11} (\text{cm}^{-3})$  の高密度プラ

ズマが安定して得られている。これは、アンテナ表面を絶縁体にて被覆したことにより、プラズマからアンテナに流入する電子が遮断され、その結果プラズマ電位の上昇が抑制されたことに起因すると考えられる。この様に、アンテナ表面を絶縁体で被覆することにより安定した高密度プラズマが得られることが明らかになった。

【0047】図9は、リング状の導体を用いたアンテナの実施例を示す。図中、13は円筒状の真空容器で、断面を示したもので、14は真空容器13の内壁に沿って配置されたリング状導体からなる高周波アンテナである。リング状導体の任意の直径線についてその2つの端点に駆動側の接続点と接地側の接続点が設定される。高周波アンテナ14は、これら2つの接続点で2つの対称な半円形線状導体の棒を並列接続した構造を持つ。駆動側の接続点には、整合器11を介して高周波電源12から高周波電流が供給され、接地側の接続点と接地との間には、ブロッキングコンデンサ7が挿入されている。

【0048】図10および図11は、図3に示す装置の変形実施例を示したものである。

【0049】図10の実施例における高周波アンテナ16は、図3に示されている全体が矩形状の高周波アンテナ10の内側に複数本の直線状導体を柵状に配設したものであり、図9の実施例の場合と実質的に同じ機能をもつが、高周波電流を複数の直線状導体に並行して流せるため、特に断面が矩形状の真空容器15内で高密度プラズマ生成を行うのに有効である。

【0050】また図11に示す実施例は、複数の直線状アンテナ18a~18fを、真空容器17の内壁面に沿って縦方向か横方向、あるいは2次元状に配置したマルチ型直線状アンテナである。各直線状アンテナ18a~18fは真空容器17の外側で並列接続され、整合器11とブロッキングコンデンサ7が接続される。図11の実施例はマルチ型直線状アンテナである点を除けば、図9の実施例の場合と実質的に同じ機能をもつが、特に大口径で長軸の真空容器内での高密度プラズマ生成を行うのに有効である。なお必要に応じて、各直線状アンテナ18a~18fをコの字形あるいは円弧形のアンテナに変更することも可能である。

【0051】また図1、図3、図9、図10、図11などの実施例において、真空容器の外壁に沿いマルチカスプ型の永久磁石を取り付けるなど、適当な磁界発生手段を付加することによって、プラズマ密度の一様性をさらに向上させることができる。

【0052】

【発明の効果】本発明では、プラズマ生成用のアンテナ自体を真空容器内に設置しているため、放電室の形状や口径および長さに制限されることがない。またアンテナ導体の表面を全て絶縁体で被覆することにより、大口径かつ大容積の高密度プラズマを安定して生成することが可能になる。

1 1

【0053】さらに本発明では、アンテナの大型化に伴うインダクタンスの増加を抑制するため、周回しない線状の導体をアンテナに用い、加えてアンテナの終端と接地との間に電気容量が固定または可変のコンデンサを挿入して整合させることにより、高密度でプラズマ電位の低いプラズマが生成されるため、ダメージの少ないプラズマ処理を実現可能にすると共に、異常放電を発生させることなく大電力の高周波電力を供給できるため、プラズマの高密度化を図ることが容易である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成説明図である。

【図2】アンテナ導体を絶縁体で被覆した場合の等価回路図である。

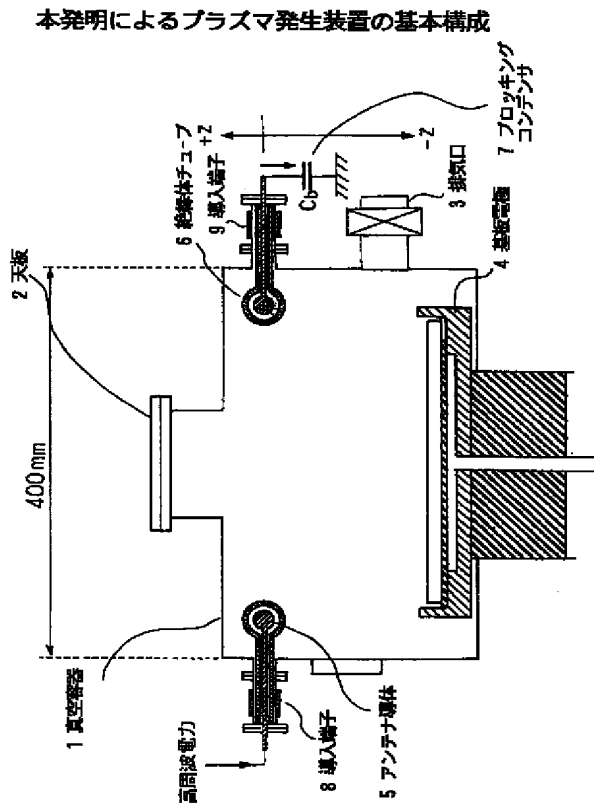
【図3】周回しないアンテナ形状の1例の構成図である。

【図4】接地型アンテナと浮遊型アンテナの等価回路図である。

【図5】接地型アンテナと浮遊型アンテナの電圧分布説明図である。

【図6】接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波投入電力とプラズマ密度の関係を示すグラフである。

【図 1】



12

【図7】接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波電圧の変化を示すグラフである。

【図8】アンテナ表面の絶縁体被覆の効果を示すグラフである。

【図9】リング状の導体を用いたアンテナの実施例構成図である。

【図10】 柵状の導体を用いたアンテナの実施例構成図である。

【図 1 1】複数の直線状導体を用いたアンテナの実施例 10 構成図である。

【図12】従来のICPを用いたプラズマ処理装置の1例を示す構成図である。

【符号の説明】

1：真空容器

2: 天板

3 : 排氣口

4: 基板電極

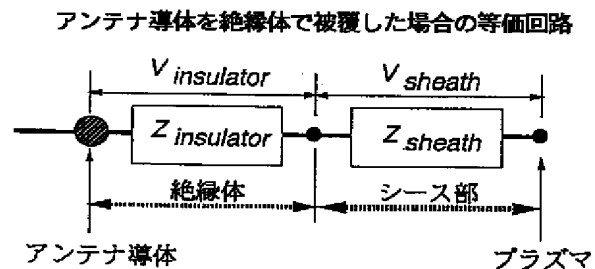
## 5: アンテナ導体

## 6: 絶縁体チューブ

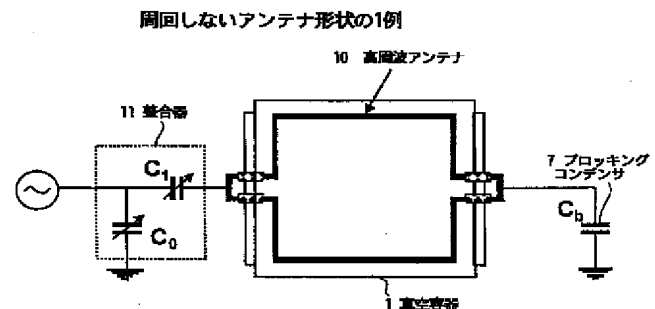
20 7:ブロッキングコンデンサ

8、9：導入端子

【図2】

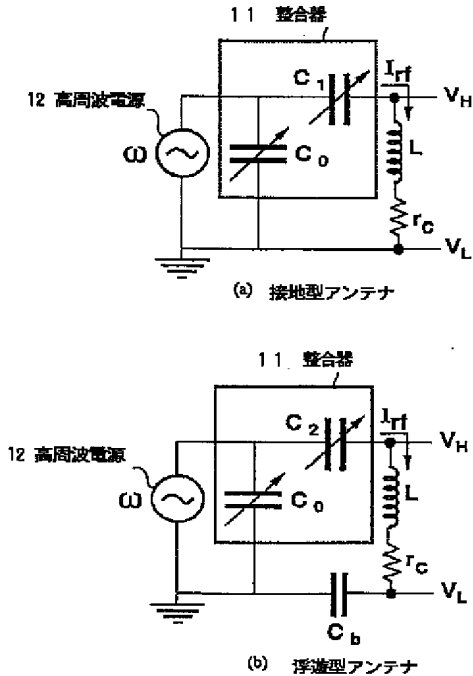


【例3】



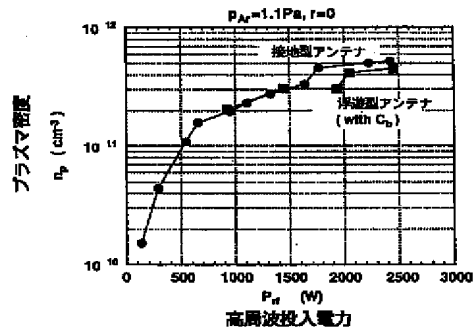
【図4】

接地型アンテナと浮遊型アンテナの等価回路



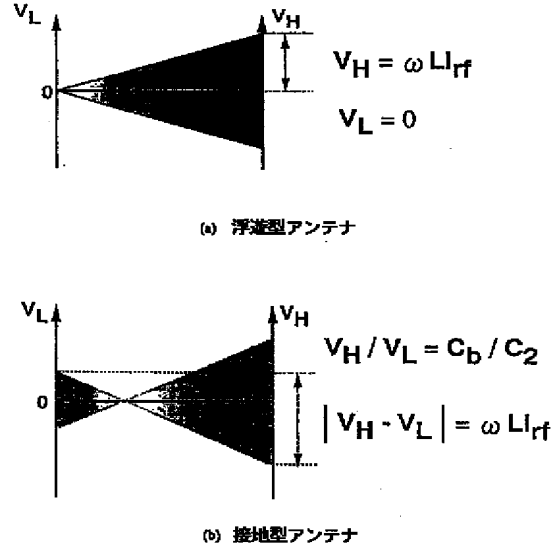
【図6】

接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波投入電力とプラズマ密度の関係



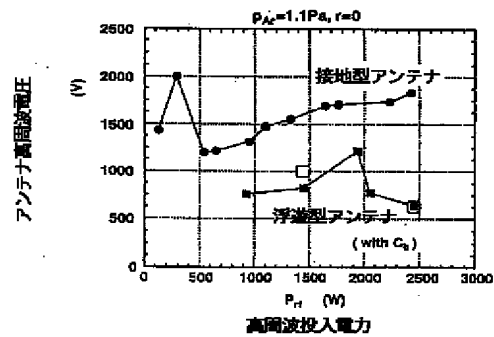
【図5】

接地型アンテナと浮遊型アンテナの電圧分布



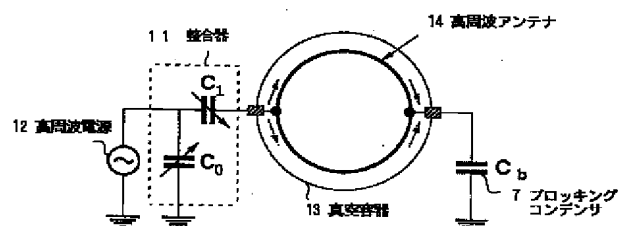
【図7】

接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波電圧の変化



【図9】

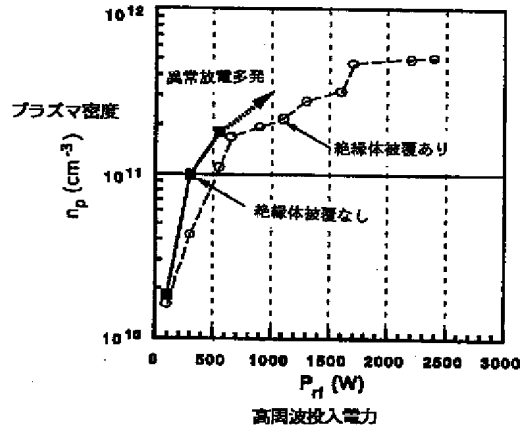
リング状の導体を用いたアンテナの実施例





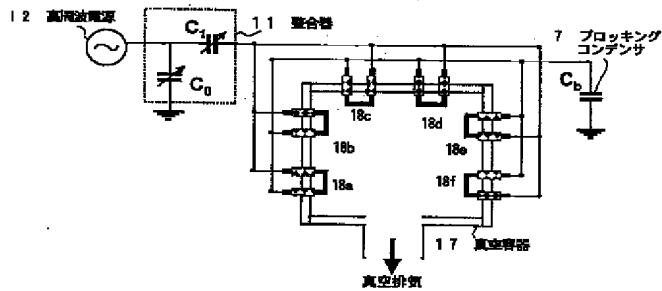
【図8】

## アンテナ表面の絶縁体被覆の効果



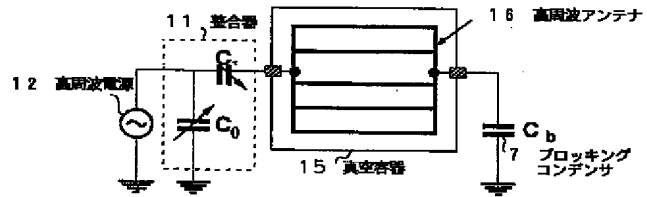
【図11】

## 複数の直線状導体を用いたアンテナの実施例



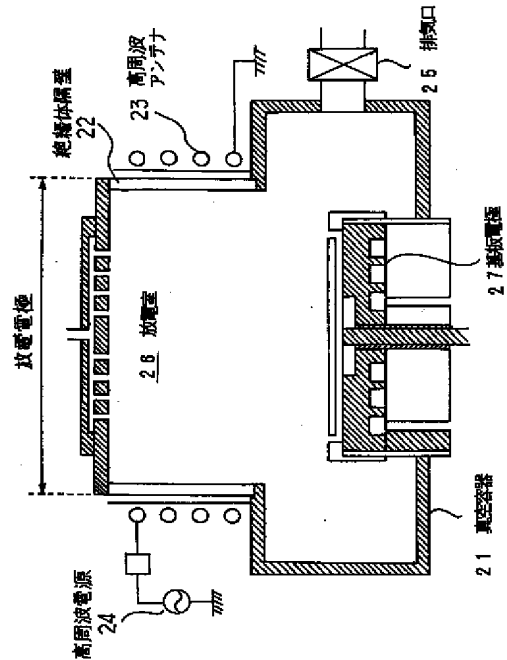
【図10】

## 柵状の導体を用いたアンテナの実施例



【図12】

## 従来のICPを用いたプラズマ処理装置の1例



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F004 AA06 AA16 BA20 BB11 BB18  
BB23 BB30 BC08 BD01 BD04  
DA23

**PAT-NO:** JP02001035697A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2001035697 A  
**TITLE:** PLASMA GENERATOR  
**PUBN-DATE:** February 9, 2001

**INVENTOR-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
MIYAKE, MASAJI	N/A
SHIYOUJI, TATSUO	N/A
SETSUHARA, YUICHI	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY CORP	N/A

**APPL-NO:** JP11212238  
**APPL-DATE:** July 27, 1999

**INT-CL (IPC):** H05H001/46 , H01L021/3065

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate the limitation of the shape, bore and length of a discharge chamber by installing an antenna itself for plasma generation purpose in a vacuum container and to stably generate large-size, large-volume and high-density plasma by coating all surface of an antenna conductor with an insulator.

SOLUTION: A whole antenna conductor 5 is put in a vacuum container 1 for a plasma generator, eliminating the need for a barrier rib and a top plate of an insulator to permit the effective use of all induced field emitted from an antenna. The inductance of the antenna is made smaller or the antenna conductor 5 is coated with an insulator, whereby abnormal discharge is restricted, resulting in stable high-density plasma.

COPYRIGHT: (C) 2001, JPO